

DESAFÍOS DE LA TELEDETECCIÓN ESPACIAL CHILENA

Marco A. Peña

Departamento de Geografía, Universidad Alberto Hurtado (Chile).

E-mail: mapena@uahurtado.cl

La teledetección espacial para la observación de la Tierra obtiene información acerca de cualquier elemento terrestre (líquido, sólido y gaseoso) mediante el análisis de imágenes capturadas en el espectro óptico, preferentemente desde satélites. Desde el inicio de la exploración espacial, marcada por el lanzamiento del satélite Soviético Sputnik en 1957, las tecnologías de teledetección espacial han experimentado un mejoramiento progresivo. No hubo de pasar mucho tiempo para que las primeras fotografías de la superficie terrestre, adquiridas por los satélites TIROS-1 (*Television Infrared Observation Satellite - 1*) y Explorer-6 hacia 1960, fueran aventajadas por imágenes; dando con ello inicio a la era digital de la teledetección espacial. A partir de la década del 70, los avances en electrónica e informática, aparejados con la política de “cielo abierto” propugnada por EE.UU., resultaron en el lanzamiento de varios satelitales ópticos destinados a la observación de la Tierra (Lillesand *et al.* 2004; Jones y Vaughan, 2010). Desde el pionero programa multiespectral Landsat inaugurado en 1972, hasta las misiones contemporáneas hiperespaciales (e.g. Geosy, Worldview) e hiperespectrales (e.g. EO-1, *Earth Observing - 1*) iniciadas a fines de 1999, la teledetección espacial para la observación de la Tierra ha revolucionado a las ciencias ambientales y de la tierra mediante la captura de una vasta gama de imágenes, permitiéndoles acceder a niveles de información y conocimiento sin precedentes.

En Sudamérica, los primeros pasos en la puesta en órbita de satélites ópticos propios los dieron Brasil y Argentina con el CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*) en 1999, y el SAC-C (Satélite de Aplicación Científica - C) en 2000, respectivamente. Ambos países tienen una larga trayectoria en materia de programas espaciales. Sus organismos competentes (CONAE; Comisión Nacional del Espacio y AEB; *Agência Espacial Brasileira*, respectivamente) cuentan con experiencia en el diseño y lanzamiento de cohetes y satélites, lo que les ha permitido realizar estudios científicos ya sea de forma independiente o mediante colaboraciones internacionales con organismos como la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) y la ESA (*European*

Space Agency) (CONAE, 2013; AEB 2013). Más recientemente, Chile, Venezuela y Perú también han puesto en órbita sus propios satélites ópticos: Fasat Charlie o SSOT (Sistema Satelital de Observación de la Tierra) en 2011, Miranda o VRSS-1 (*Venezuelan Remote Sensing Satellite - 1*) en 2012 y PeruSat-1 en 2016, respectivamente.

Tras los intentos fallidos de lanzamiento y correcta operación de los satélites ópticos FaSat-Alfa y FaSat-Bravo en 1995 y 1998, respectivamente, el Ministerio de Defensa y la Fuerza Aérea chilena (FACH) pusieron en órbita al SSOT. Este satélite transporta un sensor multiespectral (Naomi-1, *New Astrosat Optical Modular Instrument-1*) para el rastreo de los recursos naturales del país. El instrumento puede adquirir imágenes del territorio nacional con una frecuencia temporal (tiempo de retorno o revisita) de entre 3 a cinco días en las bandas (o intervalos de muestreo espectral) del visible e infrarrojo cercano y con una resolución espacial de hasta 1,45 m (en la banda pancromática: sensible a todo el espectro visible), permitiendo así identificar una amplia variedad de elementos y medir algunas de sus propiedades (variables) más relevantes (FACH, 2011). Mientras la operación del SSOT recae principalmente en el GOE (Grupo de Operaciones Espaciales), la administración y comercialización de sus imágenes es llevada a cabo por el SAF (Servicio Aerofotogramétrico), ambos organismos pertenecientes a la FACH (aunque cabría esperar que un organismo como la otrora Agencia Chilena del Espacio (ACE) fuera la administrara y comercializara tales imágenes). Nacido como un proyecto que contempla beneficiar a la comunidad chilena, el SSOT busca proveer durante su vida útil (estimada hasta 2018) imágenes del territorio nacional y mundial para el estudio de un amplio rango de problemas de interés civil (FACH, 2011). Al respecto, cabe reflexionar sobre algunos desafíos que debe abordar la comunidad científica chilena competente en teledetección y disciplinas afines (como la geomática) para aprovechar convenientemente ésta y otras tecnologías afines de carácter nacional.

Hoy, el ámbito científico internacional vinculado a la teledetección en general (i.e. tanto espacial como aérea y sensible no sólo al espectro óptico), está primordialmente orientado a aplicaciones cuantitativas que buscan modelar y predecir una variable en lugar de sólo describirla, muchas veces de manera *expost* (Liang, 2008). En una aplicación cuantitativa, los datos espectrales contenidos en la imagen (idealmente calculados en unidades relativas de reflectancia; que surgen de dividir la radiación superficial ascendente por la incidente) son convertidos a las unidades

físicas de la variable de interés ya sea directamente; mediante fórmulas basadas en principios físicos de la radiación (e.g. temperatura radiante, inercia térmica, albedo) o bien indirectamente; mediante técnicas de análisis empírico-estadísticas (e.g. índice de área foliar, biomasa, turbidez del agua), (Strahler *et al.* 1986; Liang, 2004). Los avances en óptica y electrónica han permitido la captura de imágenes satelitales con una creciente resolución espacial, espectral y radiométrica y a costos crecientemente menores. Por otra parte, los avances en informática han permitido tanto el almacenamiento de estas imágenes; que alcanzan tamaños (medidos en unidades de *gigabytes*) cada vez mayores, como la creación de herramientas *software* específicas para su procesamiento (e.g. ENVI, *Environment for Visualizing Images*; ERDAS, *Earth Resources Data Analysis System*). Estos adelantos técnicos aparejados al acervo teórico de décadas de experimentación cuantitativa, han propiciado que la teledetección modele y prediga variables con creciente precisión.

Una aplicación cuantitativa de teledetección requiere la ejecución de una serie de procedimientos concatenados que implican el pre-procesamiento completo de la imagen (calibración radiométrica, corrección atmosférica y corrección geométrica) y el diseño y aplicación de métodos de modelamiento para estimar y validar la variable de interés. De forma general, la ejecución de estos procedimientos involucra nociones de óptica y electromagnetismo, cartografía y fotogrametría, programación y estadística, además del conocimiento cabal de los fenómenos relativos a la variable de interés. Si alguno de los procedimientos mencionados es ejecutado deficientemente, entonces se pone en riesgo incrementar la distorsión que producen factores dependientes de la imagen (relacionados con sus propiedades espaciales, espectrales y radiométricas) y del área de estudio (relacionados con sus condiciones de sitio) sobre los valores de la variable, pudiendo esto significar la ocurrencia de falsos positivos que afectarán su modelación y predicción (Liang, 2004, Liang 2008). En otras palabras, si la estimación y validación de la variable es realizada sobre una imagen que contiene tales factores de confusión, difícilmente los resultados derivados de esta podrán ser válidos para otra imagen que retrate la misma variable pero en otro momento y lugar.

El estado del arte de la teledetección en Chile aún se inclina a aplicaciones cualitativas, centradas por ejemplo en la clasificación espectral de coberturas de suelo (i.e. valores de escala nominal) entrenada cualitativamente o en la aplicación de índices semi-empíricos de estado de una variable

(i.e. valores de escala ordinal). Si bien a nivel de Universidades y Centros de Estudios existen varias experiencias de aplicaciones cuantitativas, un escaso número de estas se ha cristalizado en publicaciones científicas ISI (*Institute for Scientific Information*); principal mostrador a nivel mundial de un trabajo científico de alta calidad. Más aún, una proporción aún menor de estos estudios se han cristalizado en transferencias tecnológicas exitosas hacia el ámbito público o privado (empresarial) (Academia Chilena de Ciencias, 2005; CORFO, 2012). En Chile, al igual que muchos otros países, la teledetección aplicada es dominio en gran medida de ciencias de la tierra como la geografía. Ciertamente esta relación resulta lógica a causa de la dimensión espacial que ambas disciplinas comparten. No obstante, existen muchos otros campos del conocimiento que son tributarios a la teledetección, pero que suelen quedar a trasmano de la experticia de un geógrafo. Esto hace de la teledetección espacial una disciplina singular, donde reduccionismo e interdisciplinariedad deben convivir, exigiendo de sus profesionales (e.g. geógrafos) tanto la especialización científico-técnica, como la continua comunicación con ciencias formales como física, matemática y computación.

Chile ha abierto una ventana de vanguardia en materia de teledetección espacial al contar con su propia misión satelital para fines de observación de la Tierra. Ello trae consigo desafíos para la comunidad científica competente, los que deberá afrontar oportunamente para aprovechar la potencialidad de una tecnología actualmente operativa. La necesidad de aplicaciones cuantitativas de alta calidad científica capaces de trasuntar beneficios tangibles para la sociedad en su conjunto es un objetivo perentorio. Esto exige la retroalimentación entre profesionales vinculados a las ciencias de la tierra y otros atingentes a la teledetección, de modo de garantizar un dominio integral de las aplicaciones cuantitativas orientadas a asistir la solución de un problema dado. Por otro lado, exige abrirse un camino propio en el diseño y confección de satélites y aparejos afines (instrumentación espacial) tal como lo han venido haciendo desde hace unas décadas países de la región como Brasil y Argentina. Esto en el entendido que el empoderamiento técnico de este tipo de tecnologías es necesaria para comprender su desempeño y potencialidad y con esto ajustarla a la realidad de los problemas territoriales y ambientales del país, lo que consecuentemente contribuirá a avanzar en la experimentación y generación de información y conocimiento en teledetección espacial aplicada a la observación de la Tierra.

Referencias bibliográficas

ACADEMIA CHILENA DE CIENCIAS. *Desarrollo Científico en Chile*. Santiago: Red Universitaria Nacional, 2005.

AEB (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA). *Programa Espacial Brasileiro*, 2013. Disponible en internet: <http://www.aeb.gov.br/>

CORFO (CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN). *Programa de I+D Aplicada: Bases Técnicas*. Santiago: InnovaChile-CORFO, 2012.

CONAE (COMISIÓN NACIONAL DEL ESPACIO). *Misiones Satelitales*, 2013. Disponible en internet: <http://www.conae.gov.ar/>

FACH (FUERZA AÉREA DE CHILE). Fasat-Charlie el Satélite Chileno. Revista de la Fuerza Aérea de Chile, 2011, vol. LXX, N° 255, p. 6-10.

JONES, H. & VAUGHAN, R. *Remote Sensing of Vegetation: Principles, Techniques and Applications*. New York: Oxford University Press, 2010.

LIANG, S. *Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces*. New Jersey: Wiley, 2004.

LIANG, S. *Advances in Land Remote Sensing*. New York: Springer, 2008.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. & CHIPMAN, J. W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York: John & Wiley Sons, 2004.

STRAHLER, A. H.; WOODCOCK, C. E. & SMITH, J. A. On the nature of models in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 1986, vol. 20, p. 121–139.